

**JP2177577**

**Title:  
LIGHT EMITTING DIODE**

**Abstract:**

**PURPOSE:**To enable a light emitting diode of this design to emit light rays of short wavelength efficiently and stably by a method wherein a hetero-junction between a crystal selected from a specified group and a p-type silicon carbide(SiC) crystal is provided. **CONSTITUTION:**A light emitting diode is provided with a hetero-junction between a crystal selected from a group composed of an n-type gallium nitride(GaN) crystal, an n-type aluminum nitride(AlN) crystal, and an n-type gallium aluminum nitride ( $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ :0<x<1) crystal and a p-type silicon carbide(SiC) crystal. Generally, distortion, stress, and various kinds of lattice defects occur to a hetero-junction between different substances, because the substances are different from each other in lattice constant, but in this case, as a hetero-junction is formed between SiC and GaN, AlN, or  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$  whose lattice constant is very close to that of SiC, a light emitting diode of this design is able to emit light rays of short wavelength efficiently.

9

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平2-177577

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>  
H 01 L 33/00

識別記号 庁内整理番号  
B 7733-5F  
A 7733-5F

⑭ 公開 平成2年(1990)7月10日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全5頁)

⑮ 発明の名称 発光ダイオード

⑯ 特 願 昭63-333698

⑰ 出 願 昭63(1988)12月28日

⑱ 発 明 者 鈴 木 彰 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社  
⑱ 発 明 者 古 川 勝 紀 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社  
⑱ 発 明 者 繁 田 光 浩 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社  
⑱ 発 明 者 藤 井 良 久 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社  
⑲ 出 願 人 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
⑳ 代 理 人 弁理士 山本 秀策

明 細 書

1. 発明の名称

発光ダイオード

2. 特許請求の範囲

1. n型窒化ガリウム(GaN)結晶、n型窒化アルミニウム(AlN)結晶、及びn型窒化アルミニウムガリウム(Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>N: 0 < x < 1)結晶からなる群から選択された結晶と、p型炭化珪素(SiC)結晶とのヘテロ接合を有するpn接合型発光ダイオード。

2. n型窒化ガリウム(GaN)結晶、n型窒化アルミニウム(AlN)結晶、及びn型窒化アルミニウムガリウム(Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>N: 0 < x < 1)結晶からなる群から選択された結晶とn型炭化珪素(SiC)結晶とのヘテロ接合、および該n型炭化珪素(SiC)とp型炭化珪素(SiC)とのpn接合、を有するpn接合型発光ダイオード。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は紫外から青色の短波長で発光するpn接合型発光ダイオードに関する。

(従来の技術)

発光ダイオードは小型で消費電力が少なく、高輝度で安定に発光するので、各種表示装置における表示素子として広く用いられている。また、各種情報処理装置における情報記録読み取り用の光源としても実用化されている。しかし、実用化されているのは赤色から緑色の長波長で発光するダイオードであり、青から紫外の短波長で発光するダイオードは、まだ実用化されていない。

発光ダイオードの発光波長は、用いられる半導体材料に依存する。青色発光ダイオード用の半導体材料としては次のものに限られる。即ちⅣ-Ⅳ族化合物半導体の炭化珪素(SiC、禁止帯幅(以下では「E<sub>g</sub>」と称す)はα型でE<sub>g</sub>=3.0 eV)、Ⅲ-V族化合物半導体の窒化ガリウム(GaN、E<sub>g</sub>=3.4 eV)、Ⅱ-Ⅳ族化合物半導体の硫化亜鉛(ZnS、E<sub>g</sub>=3.7 eV)及びセレン化亜鉛(ZnSe、E<sub>g</sub>=2.7 eV)

である。さらに短波長の紫外光発光ダイオード用の半導体材料としてはⅢ-V族化合物半導体の窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ ,  $E_g = 6.0 \text{ eV}$ )又は窒化アルミニウムガリウム( $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ,  $0 < x < 1$ ,  $E_g = 3.4 \sim 6.0 \text{ eV}$ )が挙げられる。

(発明が解決しようとする課題)

発光ダイオードの素子構造としてはpn接合型の発光ダイオードが適している。その理由は、電子や正孔を発光領域へ高効率で注入できるからである。しかしながら、上記の各材料の中でSiC以外はp型結晶を得ることが困難であったり、得られても高抵抗であったり、又は極めて不安定であるため、これらのp型結晶を用いてpn接合型の発光ダイオードを作製することはできない。

これに対してSiCを用いれば、p型結晶及びn型結晶が容易に得られるのでpn接合型の発光ダイオードを作製することができる。第5図に従来のSiCを用いたpn接合型発光ダイオードの一例を示す。p型SiC1とn型SiC2とによ

ってpn接合が形成され、p型SiC用オーム性電極6、およびn型SiC用オーム性電極7が形成されている。ところが前述の化合物半導体のうちで、SiC以外のものは直接遷移型なので高効率発光に適しているが、SiCは間接遷移型なのでSiCを用いてpn接合型の発光ダイオードを作製しても発光効率が低くなり、実用的な発光ダイオードは得られないという問題点がある。

本発明はこのような問題点を解決するために為されたものであり、本発明の目的は、青、紫、紫外の短波長の光を高効率で安定に発光し得るpn接合型発光ダイオードを提供することである。

(課題を解決するための手段)

本発明の発光ダイオードは、n型窒化ガリウム( $\text{GaN}$ )結晶、n型窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )結晶、及びn型窒化アルミニウムガリウム( $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ :  $0 < x < 1$ )結晶からなる群から選択された結晶と、p型炭化珪素(SiC)結晶とのヘテロ接合を有しており、そのことにより上記目的が達成される。

また、n型窒化ガリウム( $\text{GaN}$ )結晶、n型窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )結晶、及びn型窒化アルミニウムガリウム( $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ :  $0 < x < 1$ )結晶からなる群から選択された結晶とn型炭化珪素(SiC)結晶とのヘテロ接合、および該n型炭化珪素(SiC)とp型炭化珪素(SiC)とのpn接合、を有することもできる。

(作用)

一般に異種物質のヘテロ接合はそれぞれの物質の格子定数が異なるため、接合部に歪みや応力、様々な格子欠陥が発生する。このようなヘテロ接合によって発光ダイオードを作製しても、著しく特性の悪い素子となる。本発明はSiC(格子定数 $a = 3.57 \text{ \AA}$ )と非常に近い格子定数を有する $\text{GaN}$ ( $a = 3.54 \text{ \AA}$ )、 $\text{AlN}$ ( $a = 3.58 \text{ \AA}$ )、 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ( $a = 3.54 \sim 3.58 \text{ \AA}$ )を用いてヘテロ接合を形成するのである。得られた特性を有する短波長発光ダイオードを得ることができる。

本発明の発光ダイオードは、n型の $\text{GaN}$ 、 $\text{AlN}$ 、又は $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ と、p型のSiCとのヘテロ接合pn接合構造を有し、直接遷移型のバンド構造をもつn型の $\text{GaN}$ 、 $\text{AlN}$ 、又は $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ から発光するので高い発光効率を有している。

また本発明の発光ダイオードはp型のSiCとn型のSiCとのpn接合を有し、さらにn型のSiCとn型の $\text{GaN}$ 、 $\text{AlN}$ 、又は $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ とのヘテロ接合を有している。そのためp型SiCからn型SiCへ注入されたキャリアはヘテロ接合部のエネルギー障壁によってn型SiCに閉じ込められるので、高い発光効率を得られる。

(実施例)

本発明の実施例について以下に説明する。

第1図に本発明の発光ダイオードの一実施例の断面図を示す。厚さ約 $500 \mu\text{m}$ のp型SiC1と、n型 $\text{GaN}$ 3とによってヘテロ接合pn接合構造が形成され、さらにp型SiC用オーム性電極6、及びn型 $\text{GaN}$ 用オーム性電極8が形成されてい

る。表面漏れ電流を少なくするため、メサエッチングによりメサ構造とした。p型SiC1にはp型のアクセプタドーパントとしてアルミニウム(AI)を添加した。p型SiCの正孔濃度は $10^{18} \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。n型GaN3はアンドープのn型膜である。電子濃度は $10^{18} \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。また、n型GaN3には青色の発光中心となる亜鉛(Zn)を添加した。

本実施例の発光ダイオードは次のようにして作製した。p型SiC1基板上に、トリメチルガリウム( $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ )とアンモニア( $\text{NH}_3$ )とを原料として有機金属気相成長法(MOCVD法)によりn型GaN3を成長させた。成長温度は約1000℃である。成長中にジエチル亜鉛 $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ を原料として加え、発光中心となるZnを含ませた。

第2図に本実施例の発光ダイオードのエネルギーバンドの様子を示す。第2図(a)はバイアス電圧を印加しない場合のエネルギーバンドを表わす図である。p型SiC1のフェルミ準位とn型Ga

N3のフェルミ準位は一致している。p型SiC1の価電子帯12には正孔14が存在し、n型GaN3の伝導帯11には電子13が存在する。これら正孔14および電子13は、p型SiC1とn型GaN3との界面のエネルギー障壁によって互いに結合することはない。第2図(b)は、順バイアス電圧を印加した場合のエネルギーバンドを表わす図である。この場合、p型SiC1側に正の電圧が印加される。順バイアス電圧が印加されると、p型SiC1とn型GaN3との間の界面のエネルギー障壁が低くなり、価電子帯12の正孔14と伝導帯11の電子13とが再結合して発光する。p型SiC1の正孔濃度はn型GaN3の電子濃度より十分大きく設定してあるので、pn接合部近傍でのキャリア注入は主としてp型SiC1側からn型GaN3側へ行なわれる。そして、n型GaN3へ注入された正孔14はZn発光中心16を介して電子13と再結合して光を発する。本実施例の発光ダイオードは波長450nmの青色の発光を示した。発光効率は外部量子効率で0

5%に達した。そして素子全面で安定に発光した。

第3図は本発明の発光ダイオードの他の実施例を表わす断面図である。厚さ約500 $\mu\text{m}$ のp型SiC1、厚さ約2 $\mu\text{m}$ のn型SiC2、及びその上の厚さ約10 $\mu\text{m}$ のn型AlN5によって構成されている。p型SiC1とn型AlN5にはそれぞれp型SiC用オーム性電極6、及びn型AlN用オーム性電極9が設けられている。また表面漏れ電流を少なくするためメサエッチングによりメサ構造にした。p型SiC1にはp型のアクセプタドーパントとしてAIが添加されている。p型SiC1の正孔濃度は $10^{18} \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。n型SiC2にはドナードーパントとして窒素(N)が添加されており、さらにAIアクセプタも過量同時に添加されている。n型SiC2の電子濃度は $10^{18} \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。n型AlN5は特にドーパントを添加していないアンドープのn型である。n型AlN5の電子密度は約 $10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。

本実施例の発光ダイオードは次のようにして作製した。p型SiC1基板上にモノシラン( $\text{SiH}_4$ )とプロパン( $\text{C}_3\text{H}_8$ )とを原料として、気相成長法(CVD法)により、n型SiC2を成長させた。成長温度は約1300℃である。成長中に窒素( $\text{N}_2$ )及びトリメチルアルミニウム( $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ )を原料として加え、N及びAIを含ませた。次にトリメチルアルミニウム $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ とアンモニア( $\text{NH}_3$ )とを原料としてCVD法により、n型AlN5を連続的に成長させた。成長温度は約1000℃である。

第4図に本実施例の発光ダイオードのエネルギーバンドの様子を示す。第4図(a)はバイアスを印加しない場合のエネルギーバンドを表わす図である。p型SiC1、n型SiC2、及びn型AlN5のフェルミ準位は一致している。p型SiC1の価電子帯12には正孔14が存在し、n型SiC2及びn型AlN5の伝導帯11には電子13が存在する。これら正孔14及び電子13はp型SiC1とn型SiC2との界面のエネルギー

障壁によって互いに結合することはない。第4図(b)は順バイアス電圧を印加した場合のエネルギーバンドを表わす図である。この場合、p型SiC 1側に正の電圧が加えられる。順バイアス電圧が印加されると、p型SiC 1とn型SiC 2との間の界面のエネルギー障壁が低くなり、価電子帯12の正孔14と伝導帯11の電子13とが再結合して発光する。p型SiC 1の正孔濃度はn型SiC 2の電子濃度より十分大きく設定してあるので、pn接合部近傍でのキャリア注入は主としてp型SiC 1からn型SiC 2へ行なわれる。そしてp型SiC 1からn型SiC 2へ注入された正孔14は、n型SiC 2とn型AlN 5との間の界面の大きなエネルギー障壁によって厚さ2 $\mu\text{m}$ のn型SiC 2に閉じ込められるので、効率良く電子13と再結合し、発光する。正孔14と電子13の再結合は、窒素ドナー17及びアルミニウムアクセプタ18によるドナーアクセプタ対発光によって行なわれる。本実施例の発光ダイオードは波長470nmの青色発光を示した。外部

量子効率 $\eta$ は0.2%であり、高い発光効率を示した。

以上の2つの実施例に於ては、SiCを基板として、SiC、Ga<sub>0.5</sub>N又はAlNをその上に成長させてヘテロ接合を形成した例を示したが、逆にGa<sub>0.5</sub>N又はAlNを基板としてその上にSiCを成長させてヘテロ接合を形成してもよい。また上述の2つの実施例ではSiCとしてE<sub>g</sub>の大きい $\alpha$ -SiC(E<sub>g</sub>=3.0eV)を用いたが、E<sub>g</sub>の小さい $\beta$ -SiC(E<sub>g</sub>=2.3eV)を用いても良い。この場合には、上述の2つの実施例のうち、後で述べた実施例では発光色は青色ではなく、より長波長の赤橙色から緑色となる。

(発明の効果)

本発明の発光ダイオードはこのように青、紫、紫外の短波長の領域で高効率で安定に発光するので、例えば各種表示装置の表示部の多色化や、発光ダイオードを光源として用いた各種情報処理装置における記録情報の読み取りの高速化及び高密度化を可能にし、発光ダイオードの応用分野が飛

躍的に拡大される。

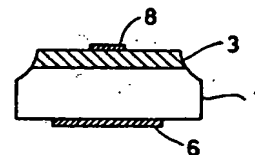
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例を表わす断面図、第2図(a)及び(b)はそれぞれ第1図の発光ダイオードにバイアス電圧を印加しない場合と印加した場合のエネルギーバンドを表わす図、第3図は本発明の他の実施例を表わす断面図、第4図(a)及び(b)はそれぞれ第3図の発光ダイオードにバイアス電圧を印加しない場合と印加した場合のエネルギーバンドを表わす図、第5図は従来の短波長発光ダイオードの断面図である。

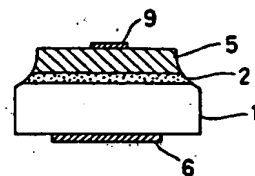
1…p型SiC、2…n型SiC、3…n型Ga<sub>0.5</sub>N、5…n型AlN、6…p型SiC用オーム性電極、8…n型Ga<sub>0.5</sub>N用オーム性電極、9…n型AlN用オーム性電極、11…伝導帯、12…価電子帯、13…電子、14…正孔、15…フェルミ準位、16…亜鉛発光中心、17…窒素ドナ、18…アルミニウムアクセプタ。

以上

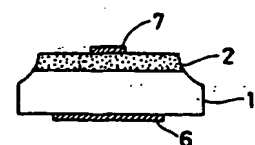
第1図



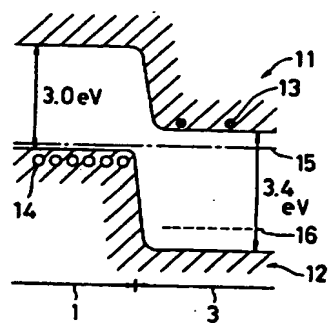
第3図



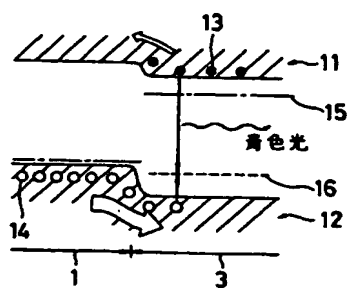
第5図



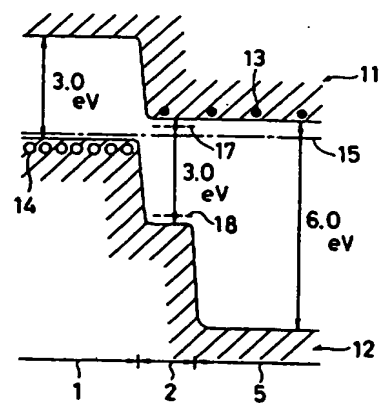
第2図(a)



(b)



第4図(a)



(b)

